

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 58-168026

(43)Date of publication of application : 04.10.1983

(51)Int.Cl.

G02B 9/02

G02B 3/00

// G02B 27/10

(21)Application number : 57-050342

(71)Applicant : AGENCY OF IND SCIENCE & TECHNOL

(22)Date of filing : 29.03.1982

(72)Inventor : KIKUCHI KEISUKE

(54) EMBEDDED TYPE SPHERICAL LENS HAVING DISTRIBUTED REFRACTIVE INDEX

(57)Abstract:

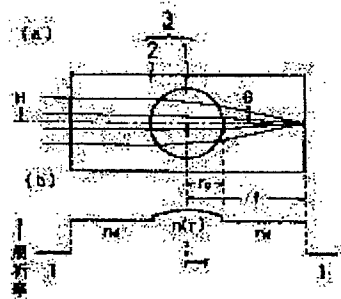
PURPOSE: To realize a tight construction monolithic with another optical element, by embedding a spherical core whose refractive index decreases from the center to the

circumference according to the square of distance in a circumferential medium whose refractive index is selected depending upon at least center refractive index and the secondary and quadratic values of coefficients of distribution.

CONSTITUTION: The spherical core 1 whose refractive index decreases according to the square of distance from the center to the circumference is embedded in the circumferential medium 2 whose refractive index is selected depending upon at least its center refractive index $n(o)$ and secondary and quadratic coefficients $G2$ and $G4$ of distribution. The relation between $n(o)$, $G2$ and $G4$, and refraction distribution $n(r)$ is expressed by an equation where $r0$ is the radius of the spherical core 1.

Consequently, the distribution of refraction is controlled easily to obtain a lens having less spherical aberration and tight unification with other optical elements such as an optical fiber is enabled. The spherical core has small refractive index in the spherical boundary surface and loss is reduced. Thus, a lens for microoptics which is strong and has high performance, many functions, and high reliability is obtained.

$$n(r) = n(o) \left(1 + G_2 \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 + G_4 \left(\frac{r}{r_0} \right)^4 \right)$$



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

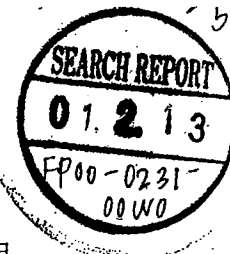
[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]



⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭58-168026

⑤ Int. Cl.³

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和58年(1983)10月4日

G 02 B 9/02

6952-2H

発明の数 1

3/00

7448-2H

審査請求 有

// G 02 B 27/10

8106-2H

(全 7 頁)

⑭ 埋め込み型分布屈折率球レンズ

⑯ 発明者 菊地啓介

⑰ 特 願 昭57-50342

茨城県新治郡桜村梅園1丁目1

⑱ 出 願 昭57(1982)3月29日

番4号電子技術総合研究所内

特許法第30条第1項適用 昭和56年10月9日

⑲ 出 願 人 工業技術院長

福井大学において開催された'81秋期第42回

⑳ 指定代理人 工業技術院電子技術総合研究所

応用物理学学会学術講演会で発表

長

明 細 書

1. 発明の名称

埋め込み型分布屈折率球レンズ

2. 特許請求の範囲

(1) 中心から周辺に向つて距離 r の2乗で屈折率が減少している球芯を、少なくともその中心屈折率 $n(0)$ と分布係数の2次、4次の値 G_2 、 G_4 に応じて決定された屈折率の周囲媒質に埋め込んだことを特徴とする埋め込み型分布屈折率球レンズ。

たとし、前記 $n(0)$ 、 G_2 、 G_4 と屈折率分布 $n(r)$ の関係は前記球芯の半径を r_0 として

$$n^2(r) = n^2(0) \left[1 + G_2 \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 + G_4 \left(\frac{r}{r_0} \right)^4 \right]$$

で表わされるものとする。

(2) 周囲媒質の表面は平面であることを特徴とする特許請求の範囲第(1)項記載の埋め込み型分布屈折率球レンズ。

(3) 周囲媒質の表面は曲面であることを特徴とする特許請求の範囲第(1)項記載の埋め込み型分布屈折率球レンズ。

(4) 球芯は複数個からなることを特徴とする特

許請求の範囲第(1)項記載の埋め込み型分布屈折率球レンズ。

3. 発明の詳細な説明

この発明は、球面収差を補正すると同時に他の光学素子と密着して一体化することを可能とする構造を備えた埋め込み型分布屈折率球レンズに関するものである。

光通信、光情報処理、医療の分野ではレーザ光をコリメートし、また、集光するための高性能な小型レンズ、いわゆるマイクロプティクス用のレンズが不可欠である。この要求を満たすべく、先に球対称分布屈折率球芯に、分布に応じた厚さの球殻状クラッドとロード状クラッドとを被せ、球面収差を補正すると同時に、ロード部を介して他の光学素子との密着一体化を可能とする不均質屈折率レンズを提案した(特願昭56-66612号参照;以下先願という)。これは球芯の屈折率こう配のみならず球殻状クラッドの表球面のレンズ作用を利用しているので、開口数NAが0.45程度の大きめのものが得られ、光ディスク用ビッ

クアツプレズへの応用などにも通じていた。しかし、開口数NAを大きくするために、構造的に幾分複雑になり、厚さが一様な球殻状クラッドを製作することが製作上最も難しいことであつた。

ところで、光通信用結合レンズ、すなわち、光ファイバと他の光学素子などを結合するレンズについて考えて見ると、光ファイバの開口数NAは高々0.2程度であり、必ずしも先願のレンズのような開口数NAの高いものを使用する必要はなく、球殻状クラッドを取り除き、代りにロッド状クラッドを付けた簡易レンズが適用できるものである。また、ロッド状クラッドのみにすることによつて、他の光学素子との一体化に関しては一層自由度を増したことになる。

この発明は、上記の点にかんがみなされたもので、その目的として、開口数NAを光ファイバの開口数NAより幾分多めの0.3程度とし、球面横収差がシングルモード光ファイバ(以下SMFという)のコア径内に収まる程度の数 μm で、他の光学素子との密着による一体化を、先願レンズの

ものよりも完全に行えるようにし、したがつて構造的に堅固で、媒質の境界反射による損失を少なくし、しかも製作を容易にし、光通信、光情報処理、レーザ装置へ利用される場合、高性能で高信頼性を有するレンズを量産性よく提供するものである。

さて、この発明のレンズの基本的な構成を第1図(a)に示す。この図において、1は球対称屈折率分布の球芯で、均一屈折率の周囲媒質2に埋め込んだ球レンズ3としたものであり、屈折率の関係を第1図(b)に示す。なお、従来、均一屈折率球を他の周囲媒質に埋め込んだBSL(Buried Sphere Lens)が開発されている。これは、他光学素子との一体化に関しては非常に優れたレンズであるが、球面収差が非常に大きい欠点があつた。

そこで、この発明においては、屈折率が中心から周辺に向つて距離の ± 2 乗で減少する球芯1を埋め込むこととなるが、任意の屈折率を有する周囲媒質2では未だ球面収差が残り、屈折率分布 $n(r)$ のある範囲のもので、かつ分布に応じて選ば

れた屈折率 n_4 の周囲媒質2にしてはじめて μm オーダーの球面横収差にすることが可能になる。なお、 r_0 は前記球芯1の半径、 l は前記球芯1の中心から焦点までの距離で、こゝでは周囲媒質2の端部に焦点を位置させている。また、 H は入射高、 r は半径方向の距離、 θ は出射角を示す。

第2図は第1図の光学系で、入射する平行光を集光する場合の入射高 H/r_0 と(横収差/ r_0) $\times 10^3$ との関係を、球芯1の4次分布係数 G_4 と周囲の周囲媒質2の屈折率 n_4 の組をパラメータにして示した図である。この図において、4次分布係数 $G_4 = -0.016$ 、屈折率 $n_4 = 1.45$ で収差は最小になつている。なお、曲線IIは $G_4 = -0.032$ 、 $n_4 = 1.46$ 、曲線IIIは $G_4 = 0$ 、 $n_4 = 1.44$ の場合であり、いずれも $NA = 0.3$ 、 $n(\alpha) = 1.6$ 、 $G_2 = -0.1$ としている。ここで球芯1の屈折率分布 $n(r)$ として、 $n^*(r)$ を次の多項式で表わしている。

$$n^*(r) = n^*(\alpha) \left[1 + G_2 \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 + G_4 \left(\frac{r}{r_0} \right)^4 \right] \dots\dots (1)$$

このように収差を小さくできる球芯1の各分布

係数 G_2 、 G_4 の範囲を第3図に示す。この図で、実線は屈折率 n_4 、一点鎖線は(横収差/ r_0) $\times 10^3$ 、点線は l/r_0 であり、 $NA = 0.3$ 、 $n(\alpha) = 1.6$ とした。

与えられた各分布係数 G_2 、 G_4 に対して、それを座標とする点を通るベクトル(矢印)に周囲媒質2の屈折率 n_4 を添ふと、同じくこの点を通る等収差線(一点鎖線)で示される横収差にできることを意味している。ここで横収差は、出射角 $\theta = 0 \sim \alpha$ 、 NA の間の横収差を第2図のように正負バランスさせたときのピークで示している。また、(横収差/ r_0) $\times 10^3$ の値で記しているので、 $r_0 = 1\text{mm}$ のレンズとして図に記した値が μm 単位の横収差を与える。

第3図より横収差 $< 2 \times 10^{-3} r_0$ のレンズを屈折率差5%($G_2 = -0.1$)の球芯1で実現するには、4次分布係数 G_4 を $-0.025 < G_4 < -0.005$ に制御すればよい。

さて、この制御の容易を知るために、ガラスに屈折率分布を付けるイオン交換過程で予想される

分布係数(縦軸)の時間(規格化拡散時間 Dt/r_0^2)に対する変化を求めたのが第4図である。なお、初期条件は球芯1の内部屈折率 n は1.58、まづ先にイオンが拡散される球芯1の表面の屈折率 n は下げられた値1.5とする。

球芯1の周囲から内部に屈折率を下げるイオンが拡散するとし、その屈折率変化はそのイオン濃度に比例するとした。第4図から4次分布係数 G_4 は時間とともに負から正へと変つていくので、第3図の収差を小さくできる領域を横切ることになる。そこで入つたときにイオン交換を停止せればよい。さきの4次分布係数 G_4 の範囲に対応する時間は全時間の±5%に相当し、この制御は難しくはない。

ここまでは、屈折率分布の4次分布係数 G_4 まで考え6次分布係数 G_6 は0としてきたが、第4図から6次分布係数 G_6 がさきの望ましい4次分布係数 G_4 を与える時間範囲で正の値でかなり残つていくことが分かる。そこで、6次分布係数 G_6 まで考慮した解析をし、第3図の G_2-G_6 面と G_4

軸を加えた三次元図面の G_2-G_4 断面を示したのが第5図である。

この場合 K は、

$$n^2(r) = n^2(o) \left(1 + G_2 \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 + G_4 \left(\frac{r}{r_0} \right)^4 + G_6 \left(\frac{r}{r_0} \right)^6 \right)$$

と展開される。

収差を少なくできる領域(一点領域で囲まれる)は、6次分布係数 G_6 の正の方向に拡がつており、第4図の6次分布係数 G_6 と同符号であることに注目すべきである。すなわち、イオン交換過程の制御が非常に楽になるのである。なお、この場合は $G_2 = -0.1$ で切つた断面を示し、他は第4図と同じである。

次に、この発明による埋め込み型分布屈折率球レンズの製作に当たつてのトレランスについて説明する。前記の球レンズの設計の特徴は、球芯1の分布に応じて周囲媒質2の屈折率 n_2 を選ぶことにあるから、その屈折率 n_2 のトレランスをまず調べる。

第6図に与えられた分布の一例について、周囲

媒質の屈折率 n_2 と横収差の関係を示した。なお、 $NA = 0.3$, $n(o) = 1.6$, $G_2 = -0.1$, $G_4 = -0.02$, $G_6 = 0.05$ とした。この場合、 $n_2 = 1.414$ で収差は最小になつていくが、この値と同じ値の周囲媒質を探すことは困難なので、レンズの使用目的に応じてトレランスを知る必要がある。

いま、8MPのコア直径内(≒8μmφ)に集光することを目標においてみると、横収差をその半分の4μmに抑えればよく、第6図から球芯1の半径 $r_0 = 1$ mm のレンズでは、屈折率 n_2 のトレランスは、±0.005となる。ただし、この値は $NA = 0.3$ のレンズをいつばいに使つて得られたもので、実際の光ファイバ($NA \approx 0.1 \sim 0.2$)への結合では、レンズの一部分しか使わないので、トレランスはもつと大きくなる。

もう一つ検討を要することは、球芯1の屈折率分布 $n(r)$ の測定に関するトレランスである。以上では正確な分布を知つたとしてレンズ設計をしたが、現実には測定誤差があるので収差を大きめに見積つて置かねばならない。

第7図(a), (b)は2, 4, 6次分布係数 G_2, G_4, G_6 の誤差と見換らねばならない収差を示している。いいかえると、収差のある範囲に抑えるために要求される分布係数の測定精度を示している。ただし、こゝで大まかな目安を得るために、 $(\text{横収差}/r_0) \times 10^3 = 4$ ($r_0 = 1$ mm とすると、横収差 = 4 μm に相当する)の等収差線のみを示している。こゝで分布係数の真の値を $n(o) = 1.6$, $G_2 = -0.1$, $G_4 = -0.02$, $G_6 = 0.05$ として周囲媒質の n_2 を決めているので、収差は第7図の斜線領域の中心で最も少なく、分布係数がそこからはずれるにしたがつて大きくなる。細長い(斜線)領域なので、方向性があり、数値的に扱わしにくい。強いて図の $\delta G_2, \delta G_4, \delta G_6$ 方向で代表させると、 $r_0 = 1$ mm のレンズで、さきの8MP(コア直径8μmφ)の径内に収差を収めるには、2, 4, 6次分布係数 G_2, G_4, G_6 の中心からのはずれは、各々±0.005, ±0.01, ±0.01内にすることが要求され、それがとりもおさず要求される測定精度である。

さて、以上はこの発明による球レンズの基本形について球面収差を少なくするための球芯1、周囲媒質2の屈折率 n_2 の関係を述べてきたが、次に当レンズを用いた光回路の構成例を示す。

第8図(a)、(b)、(c)は、光ファイバ4の間に他の光学素子を挿入するための球レンズ3を示すもので、光ファイバ4と球レンズ3は密着一体化され、2個の球レンズ3の間隔は挿入する光学素子の長さに応じて自由に選ぶことができる。光学素子の形状によつてはそれをも一体化できる。球レンズ3の開口数NAは0.3程度、SMPである光ファイバ4の開口数NAは0.1程度であるから、球レンズ3に余裕があり、第8図(a)、(b)のように多数の光ファイバ4が1組の球レンズ3を共用することができる。第8図(a)では多重度は7程度とれ、間隔での光ビームを互いに平行にできることが長所である。

第8図(b)では、光ファイバ4からの光ビームが2個の球芯1をはずれない範囲で光ファイバ4を並べられるだけの多重度がとれる。例えば、球芯

第8図(f)は球レンズ3に干渉フィルタ7a、7bや反射鏡8を組み合わせた第8図(e)と同じく分波(合波)器である。多波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ を含む光ファイバ4からの光を球芯1で平行ビームとし、反射鏡8で反射させた後、波長 λ_1 の光のみ透過させ他の波長の光を反射させる干渉フィルタ7aに入射させ、透過した波長 λ_1 の光は球芯1の一部を使って集光され、光ファイバ4aに注入される。干渉フィルタ7aで反射した波長 $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の光は、反射鏡8で反射させた後、今度は波長 λ_2 のみ透過させ波長 λ_3, λ_4 を反射させる干渉フィルタ7bに入射させ、透過した波長 λ_2 の光は球芯1の前述とは別な部分を通して集光させ光ファイバ4bに注入する。以下同様にして、波長 λ_3, λ_4 も分離される。

上述の分波器は光線方向を逆に見ると合波器になる。第8図(f)の実施例はその紙面に垂直な断面が、第8図(g)に示す正方形のものや、第8図(h)に示す円柱状のものが考えられ、第8図(b)では同一球芯列(紙面と直角方向に複数個配列されている)

1の半径 $r_0 = 1 \mu\text{m}$ 、球芯1間の間隔 $2 \sim 10 r_0$ 、球レンズ3、光ファイバ4の開口数NAをそれぞれ0.3および0.1、光ファイバ4の外径を $50 \mu\text{m}$ として、約3.00になる。しかし、間隔部分で互いに交叉ビームになるので、その影響を受けない、用途に限定される。なお、第8図(b)では光ファイバ4と球レンズ3との密着面は球面にし、中心軸を離れた光ファイバ4からの光束も間隔で平行ビームになるようにしている。先順のレンズの場合と異なり、この球面のレンズ作用は利用していない。

第8図(c)は間隔部分をプリズム角で対面させ、空気層が入つても反射損失をなくそうとしたものである。第8図(d)はプリズム5の全反射を利用したもので、プリズム5を矢印方向に出入りさせるように構成した光スイッチである。また、第8図(e)は回折格子6を一体にして多波長を含む光ファイバ4からの各波長の光を分ける分波器、あるいは逆に多波長の光を一本の光ファイバ4に合流させる合波器と見ることもできるものである。

を共通に放射状に用い、多チャンネル分波(合波)器の構成ができる。なお、符号7は干渉フィルタを総称して示している。

第8図(j)は1個の球芯1で第8図(f)の実施例と等価な分波(合波)器を構成したものである。紙面に垂直な断面は第8図(j)または(k)に示すように構成することができる。各々円柱状、球状のものであり、後者は第8図(b)と同様に多チャンネルの構成ができる。以上いずれも球レンズ(球芯1)の対称性と開口数NAがSMP(光ファイバ4)に比べて余裕があることを利用している。

第8図(l)は2個の球芯1を纏めたカプセル状媒質を要素11として多数個を球状継手12でつないだフレキシブルな光パワー伝送路である。要素11間の接界面11'には透明な潤滑油が塗布されている。第8図(m)は第8図(l)の変形で被体状の周囲媒質13に浸した球芯1の列で、球状継手12で必要な間隔を保ち、かつ、フレキシブルにしている。これらの伝送路の先順における対応する部分との相違は、媒質境界の屈折率収差が小さいた

め反射損が著しく少ないことである。したがってレーザメスなどのフレキシブル部として高性能が期待できる。

以上詳細に説明したように、この発明は中心から周辺に向つては距離の2乗で屈折率が減少している球芯を、少なくとも中心屈折率 $n(0)$ と、分布係数の2次、4次の値 G_2, G_4 に応じて球面収差を極小にする屈折率の周囲媒質に埋め込んで構成したので、下記に述べる利点を有する。

- (I) 屈折率分布の制御を容易にして、球面収差の少ないレンズが得られる。数値例で示すと、開口数NAが0.3で横収差 $\leq 4 \mu m$ の球レンズを、球芯の半径 $r_0 = 1 mm$ で実現するには、イオン交換時間を全時間の $\pm 10\%$ で制御し、周囲媒質を屈折率 $\pm 0.4\%$ の精度で過べばよい。
- (II) 光ファイバをはじめ他の光学素子との密着一体化を可能にする。
- (III) 球芯の球対称性と余裕のある開口数を利用して多重度の高い使用ができる。

図中、1は分布屈折率の球芯、2は周囲媒質、3は球レンズ、4, 4a~4dは光ファイバ、5はプリズム、6は回折格子、7, 7a~7dは干渉フィルタ、8は反射鏡、11は基素、12は球磁手、13は液体媒質である。

指定代理人 電子技術総合研究所長 等々力 通

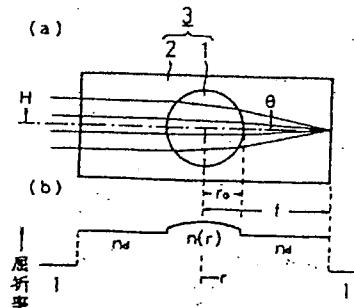
(IV) 媒質の境界面での屈折率差が小さく、損失が低減できる。

(V) 上記により堅固で高性能、多機能、高信頼性のマイクロオプティクス用レンズが提供できる。

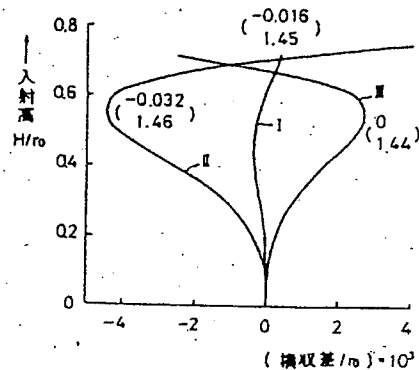
4. 図面の簡単な説明

第1図(a)はこの発明の基本的構成を示す図、第1図(b)は各部の屈折率を示す図、第2図は第1図における入射高と横収差の関係を示す図、第3図は球芯の2, 4次分布係数が与えられたとき球面収差を極小にするための周囲媒質の屈折率を決め、あわせて残置横収差、焦点距離を求めるための図、第4図はイオン交換で予想される球芯の分布係数を規格化拡散時間に対して求めた図、第5図は5次分布係数まで考慮して収差を小さくできる範囲の $G_2 \sim G_4$ 面を示した図、第6図は周囲媒質の屈折率の測定に対するトレランスを示す図、第7図(a), (b)は球芯の分布係数の測定に対するトレランスを示す図、第8図(a)~(m)はいずれもこの発明の実施例をそれぞれ示す図である。

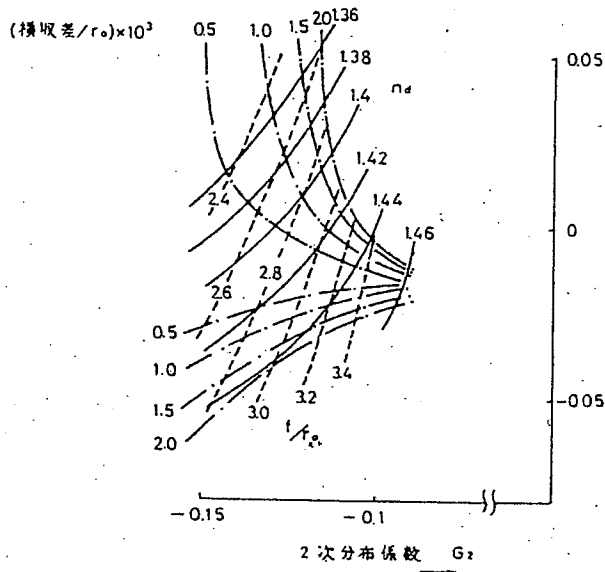
第 1 図



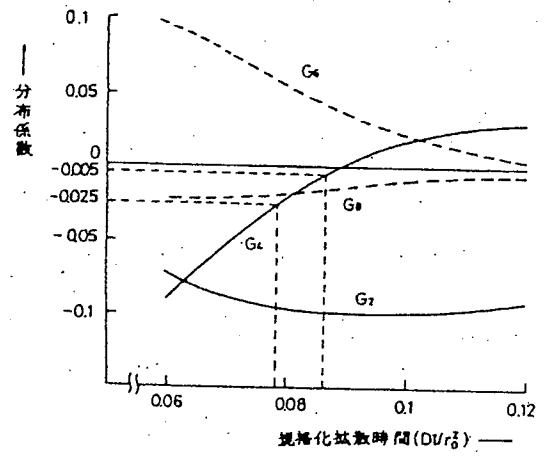
第 2 図



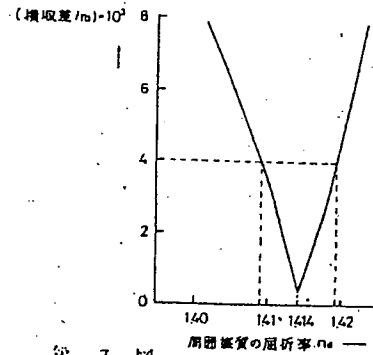
第 3 図



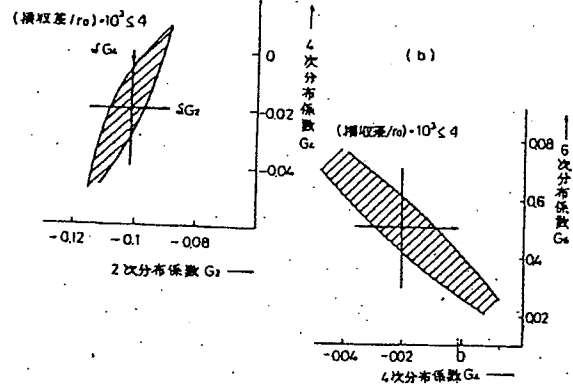
第 4 図



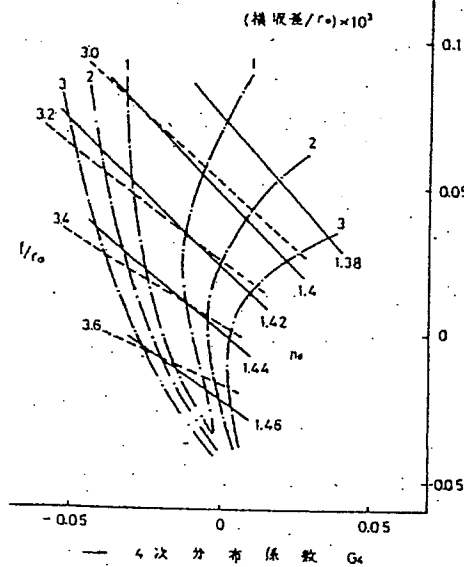
第 6 図



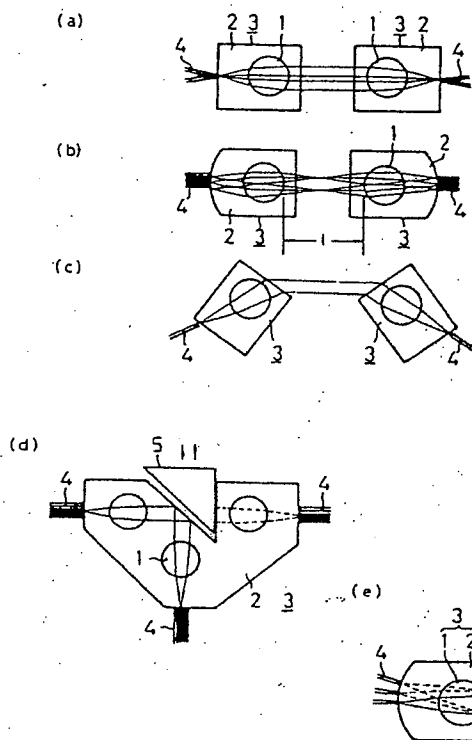
第 7 図



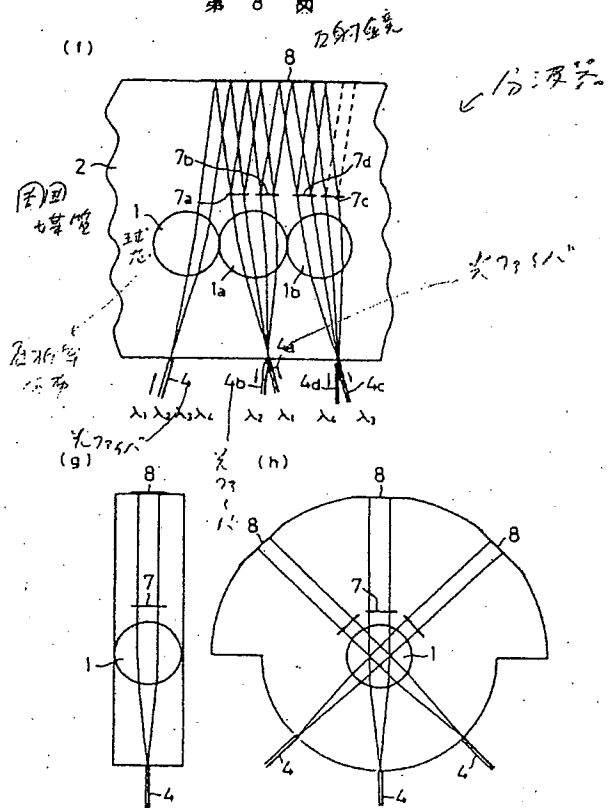
第 5 図



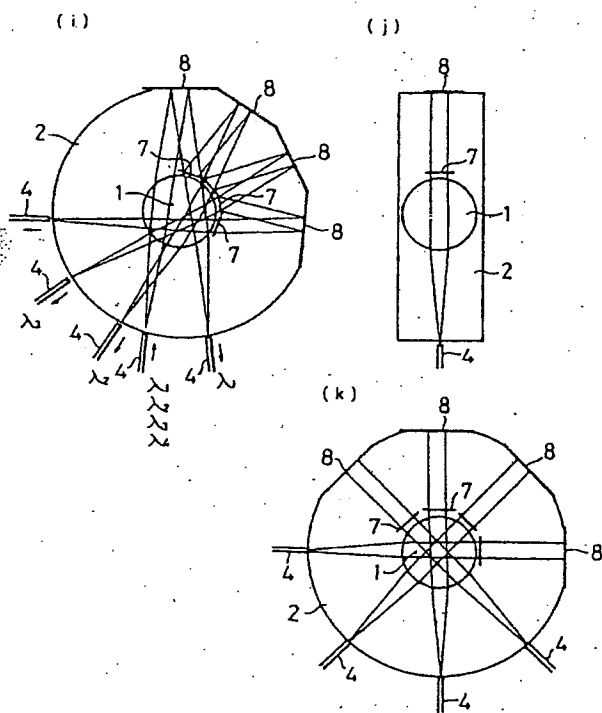
第 8 図



第 8 図



第 8 図



第 8 図

